

Studi Skema Proteksi *Adaptive Over Current* Pada Jaringan Distribusi Dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan *Genetic Algorithm*

Mukhamad Subkhi, Margo Pujiantara, Sjamsjul Anam

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail : margo@ee.its.ac.id, anam@ee.its.ac.id

Abstrak —Dengan berkembangnya *renewable energy*, seperti energi matahari, energi angin dan air untuk kedepannya akan menjadi sumber energi yang bersih yang mampu menambah daya listrik. Saat ini pembangkit tenaga listrik pada umumnya menggunakan sumber energi batu bara, gas dan minyak bumi sebagai sumber energi utama untuk menghasilkan listrik. Pembangkit-pembangkit tersebut ditinjau dari segi lokasi mempunyai jarak yang sangat jauh dengan pusat beban sehingga biaya untuk membangun sistem distribusi memerlukan biaya yang cukup mahal. Oleh karena di perlukan suatu pembangkit yang tersebar yang lokasinya dekat dengan pusat beban yaitu dengan menambah pembangkit dari *renewable energy*. Penambahan pembangkit pada jaringan distribusi akan mempengaruhi koordinasi proteksi pada rele arus lebih sehingga diperlukan adanya suatu sistem yang adaptif untuk menangani permasalahan tersebut. Dengan adanya sistem yang adaptif tersebut diharapkan mampu mendeteksi keadaan pembangkit tersebar (*distributed generator*) apakah tersambung dengan jaringan ataupun tidak. Dengan terdeteksinya *distributed generator* ke sistem jaringan distribusi pengaturan koordinasi rele akan otomatis berubah sesuai dengan *setting* rele yang diharapkan.

Kata kunci—*distributed generator*, koordinasi proteksi, pembangkit, rele arus lebih, *renewable energy*.

I. PENDAHULUAN

PEMBANGKITAN tenaga listrik di stasiun pembangkit yang di salurkan ke konsumen membutuhkan saluran transmisi dan saluran distribusi. Di tinjau dari segi ekonomi dan lingkungan mengakibatkan fasilitas pembangkit yang berkapasitas besar terletak di daerah pinggir yang jauh dari pusat beban. Pembangkit yang sumber energinya menggunakan batubara menimbulkan permasalahan polusi terhadap lingkungan sedangkan yang menggunakan sumber energi fosil mempunyai biaya yang sangat mahal dan di prediksi dalam kurun waktu beberapa tahun kedepan sumber energi fosil akan habis [1].

Dengan meningkatnya permintaan energi setiap tahunnya energi listrik tidak dapat terpenuhi karena keterbatasan saluran transmisi. Oleh karena itu diperlukan pembangkit yang efisien seperti pembangkit tersebar (*distributed generator*). Tingginya biaya transmisi dan distribusi menjadi kendala utama untuk penyaluran tenaga listrik sehingga pengembangan *distributed generator* menjadi isu yang menarik dikalangan peneliti. *distributed generator* dengan kapasitas daya yang kecil dapat digunakan untuk melayani beban puncak pada jam-jam tertentu setiap harinya.[2]

Dengan adanya *distributed generator* kondisi sistem tenaga listrik menjadi lebih rumit untuk dipahami oleh karena itu sangat diperlukan untuk mengetahui pengaruh pemasangan *distributed generator* terhadap perubahan di dalam sistem tenaga listrik.[3]. Dari permasalahan tersebut diperlukan sistem proteksi *adaptive* yang berguna untuk mengkoordinasi *setting* rele secara otomatis mengikuti kondisi perubahan status pembangkit tersebar yang masuk ke dalam sistem.

II. TEORI PENUNJANG

A. Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkitan merupakan komponen utama dalam sistem tenaga listrik. Komponen – komponen yang digunakan dalam pembangkitan yaitu generator dan turbin. Dua komponen tersebut berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Sesaat setelah terjadi pembangkitan energi listrik kemudian dinaikkan tegangannya menggunakan trafo. Menaikkan tegangan merupakan salah satu cara untuk mengurangi rugi daya pada saluran transmisi. Tahap selanjutnya saluran distribusi, di Indonesia standar tegangan yang digunakan adalah 20 kV yang nantinya akan diturunkan ke tegangan rendah 380 volt untuk keperluan sehari-hari.

B. Sistem Distribusi Radial

Jaringan distribusi radial merupakan jaringan yang paling sederhana dan banyak digunakan di Indonesia. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan tersebut. Satu daya berasal dari satu titik sumber dan terdapat percabangan untuk membagi beban. Dengan adanya percabangan – percabangan tersebut maka arus beban yang mengalir disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang yang digunakan pada saluran berbeda-beda.

C. Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Dalam sistem tenaga listrik gangguan dapat berupa arus lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*). Gangguan ini apabila tidak diatasi dapat merusak peralatan. Gangguan arus lebih Gangguan ini disebabkan karena adanya arus yang mengalir melebihi arus nominal dalam suatu penghantar. Faktor utamanya yaitu kelebihan beban. Gangguan ini apabila tidak segera diperbaiki dapat merusak saluran. Gangguan hubung singkat disebabkan dua faktor yaitu faktor *internal* dan faktor *eksternal*. Faktor

internal berasal dari rusaknya peralatan sistem tenaga listrik. Faktor *eksternal* berupa cuaca buruk seperti badai, hujan, bencana, runtuhnya pohon dan lain sebagainya. Gangguan hubung singkat menyebabkan terjadinya pemadam apabila tidak di perbaiki gangguan itu menyebabkan terputusnya *circuit breaker*, penurunan tegangan yang cukup besar sehingga kualitas tenaga listrik menjadi rendah, pengurangan stabilitas sistem dan menyebabkan lepasnya *generator* dan merusak peralatan pada daerah yang terjadi gangguan.

D. Algoritma Genetika

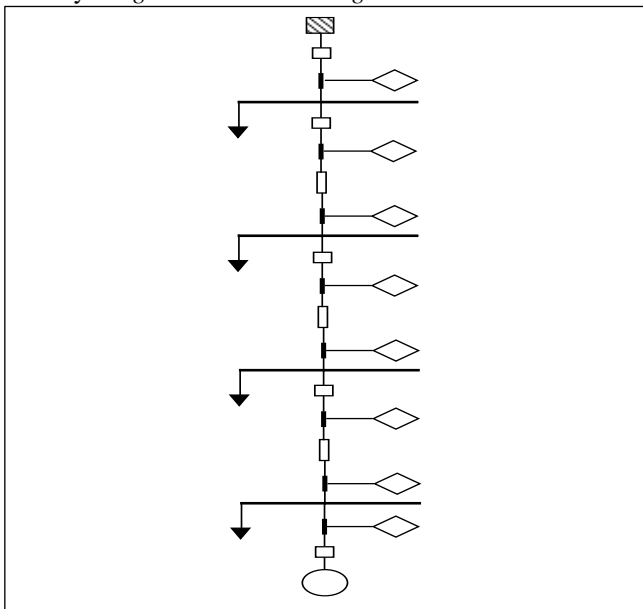
Algoritma genetika merupakan metode pencarian dengan menggunakan prinsip proses biologi yaitu evolusi alam. Algoritma ini didasarkan pada proses genetik yang ada pada makhluk hidup, yaitu perkembangan generasi dari awal sampai akhir. Sehingga prinsip seleksi alam yaitu “siapa yang kuat, dia yang bertahan (*survive*)” menjadi filosofi dari algoritma ini berdasarkan referensi.

Proses metode ini diawali dengan pembangkitan sejumlah populasi secara random sebagai solusi awal. Hasil random awal tersebut akan menjadi induk dari proses generasi selanjutnya. Jika suatu individu memenuhi persyaratan dalam menjalani sebuah proses evolusi, maka individu yang mencapai fungsi tujuan tersebut akan mempunyai kesempatan lebih untuk dipilih menjadi individu terbaik. Sedangkan individu yang tidak sesuai tujuan akan dibuang.

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Single Line Diagram

Single line diagram menggunakan dua sumber energi listrik yaitu *grid* dan *distributed generator*.



Gambar 1. *Single Line Diagram*

Single line diagram tersebut mempunyai data – data peralatan diantara grid, distributed generator, kabel, beban dan rasio CT. Lebih jelasnya mengenai data tersebut bisa dilihat pada tabel 1- 5 berikut ini :

Tabel 1.
Data Grid

No	Pembangkit	MVAsc (max)	MVAsc (min)	Tegangan
1	Grid	250	200	13.8 kV

Tabel 2.
Data Distributed Generator

No	Pembangkit	Daya (MW)	Tegangan (kV)	PF (%)
1	DG1	6	13.8	85

Tabel 3.
Data Kabel

No	Line	R (Ω)	X (Ω)	Jarak (m)
1.	Line 1-2	0.15088	0.0973	500
2.	Line 2-3	0.12169	0.0955	1000
3.	Line 3-4	0.12169	0.0955	300

Tabel 4.
Data Beban

No	Beban	Bus	MVA	Tegangan (kV)	PF (%)
1	Load 1	1	1	13.8	90
2	Load 2	2	0.5	13.8	90
3	Load 3	3	1	13.8	90
4	Load 4	4	2	13.8	90

Tabel 5.
Data Rasio CT

No	ID Rele	Arah	Ratio CT	Line
1	RF1	Forward	300	Line 1-2
2	RF2	Forward	30	Line 2-3
3	RR3	Reverse	30	Line 2-3
4	RF3	Forward	50	Line 3-4
5	RR2	Reverse	50	Line 3-4
6	RF4	Forward	100	Line 4-5
7	RR1	Reverse	50	Line 4-5

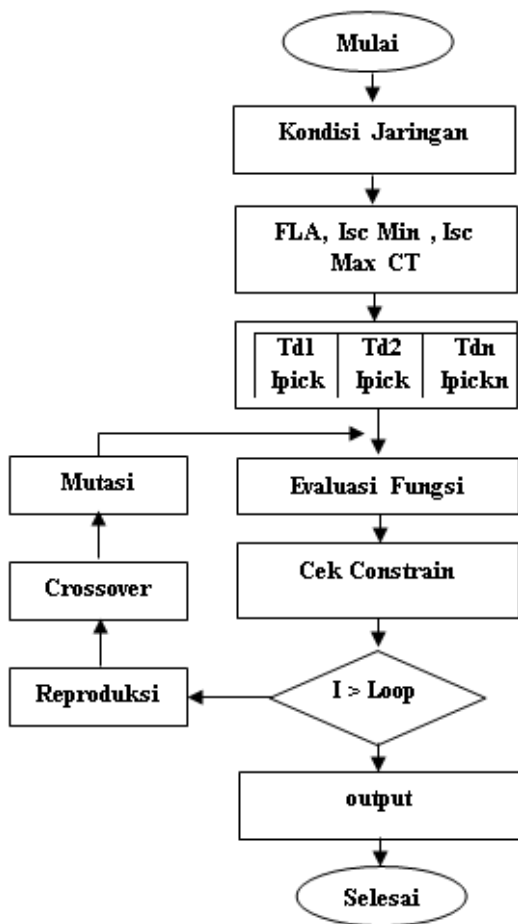
B. Konfigurasi Jaringan

Pada penelitian ini ada tiga konfigurasi jaringan untuk mengatur koordinasi rele :

1. Kondisi jaringan hanya terhubung dengan grid
2. Kondisi jaringan hanya terhubung ke distributed generator
3. Kondisi jaringan terhubung ke grid dan distributed generator

C. Perancangan Koordinasi Menggunakan Algoritma Genetika

Koordinasi proteksi menggunakan algoritma genetika diperlukan data awal untuk proses perhitungan, data awal yang dimaksud adalah arus *full load*, *Isc min*, *Isc max* dan *ratio ct*.



Gambar 2. Flowchart Algoritma Genetika

Berikut merupakan penjelasan dari flowchart diatas :

- Langkah pertama adalah melakukan sejumlah input data yaitu arus beban penuh yang melewati tiap rele, rasio *current transformer* yang digunakan serta data arus hubung singkat minimal dan maksimal yang melewati rele. Data didapat dari simulasi dengan menggunakan. Terdapat beberapa data dari konfigurasi topologi yang berbeda. Data-data akan mempunyai status *On/Off* tergantung topologi yang sedang aktif dengan mengelompokkan matriks data pada sejumlah *id* yang berbeda.
- Langkah kedua adalah membangkitkan sejumlah data awal yang berupa nilai TD (*Time dial*) dan Arus *pickup* (*I_{pu}*). Pembangkitan nilai data-data awal ini dilakukan secara random dengan batas-batas yang telah ditentukan. Dalam algoritma genetika nilai TD dan *I_{pu}* dikelompokkan dalam suatu kromosom dimana jumlah TD beserta *I_{pu}* berjumlah sama dengan jumlah rele yang akan dihitung. Adapun batasan dari nilai TD dan Arus *pickup* atau sering disebut *constraint* adalah:
 - $0,05 \leq Td \leq 1,2$
 - $1,05 \times \text{Arus Full Load} \leq I_{pick} \leq 1,4 \times \text{Arus Full load}$
- Langkah ketiga adalah mengevaluasi nilai hasil random kedalam fungsi *objektif* yaitu:

$$\text{Min } J = \sum_{i=1}^n w_i t_i$$

Dimana n adalah jumlah rele, t_i adalah waktu operasi rele saat gangguan sedangkan w_i . Tujuan dari persamaan fungsi tujuan adalah meminimalkan jumlah waktu operasi rele utama.

- Langkah empat adalah memeriksa nilai-nilai dari hasil evaluasi dengan *constraint* yang telah ditentukan. Adapun *constraint* dalam koordinasi proteksi adalah :
 - Selisih waktu kerja rele backup – rele utama saat gangguan pada bus yang sama atau sering disebut *coordination time interval (CTI)* harus lebih besar dari 0.2 s. Bila T_{nk} merupakan waktu operasi rele backup pertama R_n dari gangguan bus k dan T_{ik} merupakan waktu operasi rele utama R_i maka:
 - $T_{nk} - T_{ik} - CTI \geq 0$
 - Waktu minimal operasi rele adalah 0.1 s.
- Langkah kelima yaitu reproduksi. Pada tahap ini, setelah didapat hasil *fitness* setelah evaluasi dilakukan, maka perlu ditentukan peringkat *fitness* berdasarkan bobot dari tiap *fitness* tersebut dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P(Cn) = \frac{N_{keep} - n + 1}{\sum_{i=1}^{N_{keep}} i}$$

Dimana N_{keep} adalah jumlah ranking serta n adalah urutan ranking yang dihitung. Sehingga dalam persamaan tersebut akan dihasilkan angka posisi kemungkinan kromosom berada.

- Langkah selanjutnya adalah *crossover*. Adapun persamaan yang digunakan untuk menentukan kawin silang adalah:

$$x_{new} = (1-\beta)x_m + \beta x_d$$

Proses diatas akan berlangsung selama $I > Loop$, dimana *Loop* merupakan jumlah iterasi yang telah ditentukan sedangkan I merupakan variabel yang tiap iterasi bertambah 1 nilainya

D. Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu *Invers* dan *Instan*

Rele arus lebih waktu *invers* memiliki karakteristik ketika arus gangguan semakin besar, maka waktu operasi rele semakin cepat. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil arus gangguan yang terjadi maka waktu operasi rele akan lebih lama. Pada rele arus lebih waktu *invers*, terdapat dua penyetelan. Penyetelan tersebut adalah *setting* arus dan waktu. Penyetelan arus dilakukan dengan mengatur *tap* pada rele yang didapat dengan persamaan sebagai berikut:

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}}$$

Penyetelan arus harus mempertimbangkan arus beban maksimal. Hal ini bertujuan agar kondisi ketika beban penuh rele tidak terjadi *trip*. I_{set} merupakan arus *pickup* dalam *Ampere*. Berdasarkan standar *British BS-142* penyetelan arus *pickup* mempunyai batas sebagai berikut:

$$1,05 I_{FLA} < I_{set} < 1,4 I_{FLA}$$

Dimana I_{FLA} adalah arus beban maksimum peralatan.

Penyetelan waktu dilakukan dengan mengatur *time dial* untuk mendapatkan waktu operasi rele tersebut. Berdasarkan IEC 255-3, untuk gangguan pada sistem distribusi

menggunakan jenis kurva *standard invers* dengan persamaan sebagai berikut berdasarkan referensi [3]:

$$t_d = \frac{k \times D}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right]}$$

Di mana :

t_d = waktu operasi (detik)

D = time dial

I = nilai arus gangguan (Ampere)

I_{set} = arus pickup (Ampere)

$k = 0,14$

$\alpha = 0,02$

Rele arus lebih instan memiliki karakteristik kerja tanpa penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat. Jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang ditentukan maka rele akan bekerja. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan $I_{sc \min}$ yaitu arus hubung singkat minimum 2 fasa. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0,8 I_{sc \min}$$

IV. SIMULASI DAN ANALISA

A. Kondisi Jaringan Terhubung Grid

Pada kondisi terhubung ke grid jaringan mempunyai data sebagai berikut :

Tabel 6.
Full Load Ampere

No	Bus	Tegangan (kV)	Beban (MVA)	FLA (A)
1	Bus1	13.8	1	64.1
2	Bus2	13.79	0.5	21.9
3	Bus3	13.79	1	44.5
4	Bus4	13.8	2	133.2

Tabel 7.
Rele RF4

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	7890	6820	89.3	100

➤ Setting Low Set

$$1.05 \times FLA \leq IP \leq 1.4 \times FLA$$

$$94 \leq IP \leq 125$$

$$IP = 100$$

$$Tap = \frac{IP}{CT} = \frac{100}{100} = 1$$

➤ Time Dial

$$Tcb = 0.1 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{Isc \text{ Max}}{Ip}\right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{7890}{100}\right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = 0.065$$

➤ High Set

$$I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ Min}}$$

$$I_{set} \leq 0.8 \times 6820$$

$$I_{set} \leq 5456$$

$$I_{set} = 400$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT} = \frac{400}{100} = 4$$

Tabel 8.
Rele RF3

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	8150	7050	133.9	150

➤ Setting Low Set

$$1.05 \times FLA \leq IP \leq 1.4 \times FLA$$

$$141 \leq IP \leq 187$$

$$IP = 150$$

$$Tap = \frac{IP}{CT} = \frac{150}{150} = 1$$

Time Dial

$$Tcb = 0.3 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{Isc \text{ Max}}{Ip}\right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{8150}{150}\right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = 0.178$$

➤ High Set

$$I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ Min}}$$

$$I_{set} \leq 0.8 \times 7050$$

$$I_{set} \leq 5640$$

$$I_{set} = 750$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT} = \frac{750}{150} = 5$$

Tabel 9.
Rele RF2

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	9050	7880	155.8	200

➤ Setting Low Set

$$1.05 \times FLA \leq IP \leq 1.4 \times FLA$$

$$164 \leq IP \leq 197$$

$$IP = 200$$

$$Tap = \frac{IP}{CT} = \frac{200}{200} = 1$$

Time Dial

$$Tcb = 0.5 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{Isc \text{ Max}}{Ip}\right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{9050}{200}\right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = 0.28$$

➤ High Set

$$I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ Min}$$

$$I_{set} \leq 0.8 \times 7880$$

$$I_{set} \leq 6304$$

$$I_{set} = 1060$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT} = \frac{1060}{200} = 5.3$$

Tabel 10.

Rele RF1

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	9550	8370	197	200

➤ Setting Low Set

$$1.05 \times FLA \leq IP \leq 1.4 \times FLA$$

$$207 \leq IP \leq 277$$

$$IP = 240$$

$$Tap = \frac{IP}{CT} = \frac{240}{200} = 1.2$$

➤ Time Dial

$$Tcb = 0.7 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{I_{sc} \text{ Max}}{Ip}\right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{9550}{200}\right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = 0.4$$

➤ High Set

$$I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ Min}$$

$$I_{set} \leq 0.8 \times 8370$$

$$I_{set} \leq 6996$$

$$I_{set} = 1600$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT} = \frac{1600}{200} = 8$$

B. Perhitungan Menggunakan Genetic Algoritma

Pada perhitungan ini setting yang pakai hanya pada kondisi low set :

Tabel 11.
Hasil Perhitungan Menggunakan Genetic Algorithm

ID Rele	Setting Lowset		Arus Pick-up	Setting Highset		Arus Pick-up
	Tap	TMS		Tap	TD	
RF1	1.16	0.6011	231.42	33.48	0.1452	6696
RF2	0.86	0.4095	172.34	31.52	0.3867	6304
RF3	0.98	0.2277	146.56	37.0	0.6850	5640
RF4	1.06	0.0801	106.15	54.56	0.9352	5456

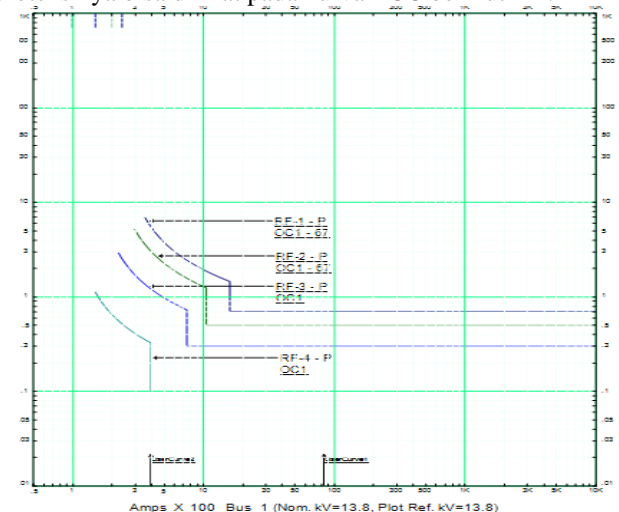
C. Perbandingan Perhitungan Manual dan Genetic Algoritma

Tabel 12.
Perbandingan Perhitungan Manual dan Genetic Algorithm

ID Rele	Setting Lowset		Arus Pick-up	Setting Lowset		Arus Pick-up
	Tap	TMS		Tap	TMS	
RF1	1.16	0.6011	231.42	1.2	0.4	240
RF2	0.86	0.4095	172.34	1	0.28	200
RF3	0.98	0.2277	146.56	1	0.178	150
RF4	1.06	0.0801	106.15	1	0.065	100

D. Plotting Kurva

Dari perhitungan diatas untuk melihat koordinasi proteksinya bisa dilihat pada kurva TCC berikut ini :



Gambar 3. Kurva Time Current Curve

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa koordinasi proteksi dengan *distributed generator* menggunakan algoritma genetika dapat diambil beberapa kesimpulan dinataranya :

- Dengan adanya *distributed generator* arus hubung singkat di semua bus mengalami kenaikan, sehingga terjadi perubahan *setting* koordinasi rele.
- Distributed generator* menyebabkan adanya dual arus yang mengalir sehingga diperlukan CT dan rele tambahan untuk mendeteksi arus dari sisi yang berlawanan.
- Hasil perhitungan manual dan perhitungan menggunakan algoritma genetika terdapat perbedaan pada *setting lowset* terutama di TMS, namun perbedaan tersebut tidak mempengaruhi koordinasi rele.
- Pada zona 1-2, 2-3 dan 3-4 terdapat dua rele untuk mendeteksi arus *forward* yang berasal dari grid dan arus *reverse* yang berasal dari *Distributed generator*.
- Tanpa adanya rele *reverse* apabila terjadi gangguan di bus waktu *tripping* akan menjadi lama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Noghabi S.Abbas, Sadeh J, Mashhasi R.Habib, “*Considering Different Netowrk Topologies in Optimal Overcurrent Relay Coordination Using a Hybrid GA*” IEEE Transaction On Power Delivery, Vol. 24 , No.4, Oct 2009.
- [2] Felipe A.Contreras, Gustavo A.Ramos, Mario A.Rios, “*Methodology and Design of an Adaptif Overcurrent Protection for Distribution Systems with DG*” IJECS-IJENS, vol.12 No.05, Oct 2012.
- [3] Chen Chao R, Lee Cheng H, Chang Chi J, “*Optimal Overcurrent Relay Coordination in Power Distribution System Using a New Approach*” Electr Power Energy Syst, vol 45 ,2013.